

磷酸铁锂正极材料发展现状及建议

李 扬

(新洋丰农业科技股份有限公司, 湖北 荆门 448000)

[摘要] 综述磷酸铁锂正极材料的生产工艺, 介绍我国磷酸铁锂正极材料行业的发展现状, 包括产能、竞争格局、价格走势情况, 分析磷酸铁锂行业面临的产能严重过剩、原材料碳酸锂价格剧烈波动、欧美贸易保护政策的不利影响以及新技术的替代风险等挑战, 并提出开展碳酸锂期货套期保值业务、出海布局磷酸铁锂产能以及向上延伸产业链等建议。

[关键词] 磷酸铁锂正极材料; 发展现状; 挑战; 建议

[中图分类号] TQ126.3*5; TQ131.1*1 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2024) 08-0048-04

Development status and suggestion of lithium iron phosphate cathode material

LI Yang

(Xinyangfeng Agricultural Technology Co., Ltd., Jingmen 448000, China)

Abstract: The production process of lithium iron phosphate cathode material is elaborated; The current development status of China's lithium iron phosphate cathode material industry is introduced, including capacity, competition, price trends; The challenges faced by the industry are analyzed, such as serious excess capacity, raw material lithium carbonate price fluctuations, the adverse effects of trade protection policies in Europe and America, and new technology alternative risk; The suggestions are put forward including futures hedging business of lithium carbonate, overseas layout of lithium iron phosphate capacity and extending industrial chain upwards.

Key words: lithium iron phosphate cathode material; development status; challenges; suggestions

2023年, 我国新能源汽车销量为949.5万辆, 同比增长37.9%, 占汽车总销量的31.6%, 高于2022年同期5.9个百分点。2023年, 我国新能源汽车动力电池装机量为387.7 GW·h, 同比增长31.6%, 其中, 磷酸铁锂电池装机量达261.0 GW·h, 同比增长42.1%, 在总装机量中占比67.3%; 三元电池装机量126.2 GW·h, 同比增长14.3%, 在总装机量中占比32.6%。磷酸铁锂电池在动力电池装机量占比自2021年7月以来已连续2年多超过三元电池。2023年我国储能锂电池出货量206 GW·h, 同比增长58%, 且磷酸铁锂电池在储能锂电池中占比超过90%。磷酸铁锂已成为新能源汽车动力电池和储能锂电池主要正极材料, 并且需求量保持快速增长, 未来市场空间广阔。

1 磷酸铁锂正极材料生产工艺

磷酸铁锂的生产工艺主要分为固相法和液相法, 固相法是最为成熟且实现大规模应用的方法。固相法工艺通常是磷酸铁与碳酸锂混合, 经喷雾干燥、烧结、粉碎等步骤得到磷酸铁锂, 优点是合成

设备和工艺简单, 反应条件容易控制, 适合工业化生产, 但产品的均匀性和一致性较差, 能耗较高, 可能存在部分烧结现象^[1]。液相法工艺是以水为溶剂, 将碳酸锂、硝酸铁及磷酸一铵等混合进行水热反应得到前驱体, 再经破碎烧结等步骤得到磷酸铁锂, 优点是原材料可以在溶液中进行分子级别的混合, 产品均匀性和一致性较好, 但反应过程复杂, 较难控制。

根据前驱体的不同, 固相法又分为磷酸铁法、草酸亚铁法和铁红法。磷酸铁法由于具有压实密度高、工艺成熟、建设成本低且周期短等优点而被广泛应用。草酸亚铁法和铁红法因产品电化学性能差、能量密度低等缺点而较少应用。磷酸铁法的制备又分为铵法、钠法和铁法工艺。铵法工艺是硫酸亚铁溶液与过氧化氢反应生成硫酸铁^[2], 再与磷酸一铵反应生成磷酸铁, 经水洗、结晶、过滤、干

[收稿日期] 2023-12-25; **[修回日期]** 2024-03-15

[作者简介] 李 扬(1989-), 男, 河北石家庄人, 从事磷、氟化工研究。E-mail: liyang@yonfer.com

燥、煅烧后得到磷酸铁。反应过程中需要加入磷酸，保证磷酸根足量，同时加入氨水中和过量的硫酸及磷酸。钠法工艺是硫酸亚铁溶液和过氧化氢充分搅拌氧化后，将磷酸和液碱按一定比例混合后加入反应釜，充分反应后过滤、干燥、焙烧得到磷酸铁^[3]。铁法工艺是高纯磷酸与氧化铁反应，氧化铁为还原剂，高纯磷酸为氧化剂，得到磷酸铁。3种工艺中，铵法和钠法是主流工艺。铵法成本最低，且副产物硫酸铵可作为肥料，具有经济价值，但产品杂质较多，且需配套污水处理装置^[4]；钠法成本较铵法高1 000元/t左右，副产物硫酸钠经济价值较低，且需配套污水处理装置，但产品杂质较铵法少；铁法成本远高于铵法和钠法，但其产品纯度高，没有副产物，且污染较少。

2 磷酸铁锂正极材料行业发展现状

2.1 产能

近几年国内磷酸铁锂产能快速增长。据不完全统计，2021年年底国内磷酸铁锂产能为97.0万t/a，2022年年底产能超过250.0万t/a，到2023年年底实际产能达到388.4万t/a，在建的磷酸铁锂产能164.5万t/a，已经规划但未建设的产能908.6万t/a，合计1 461.5万t/a（见表1）。

表1 截至2023年年底国内磷酸铁锂企业实际产能、在建产能及规划产能

Table 1 Actual capacity, under construction capacity and planned capacity of lithium iron phosphate enterprises in China at the end of 2023

项目	企业数	实际产能/ (万t·a ⁻¹)	规划产能/ (万t·a ⁻¹)		实际+ 规划产能/ (万t·a ⁻¹)
			在建	未建	
正极材料企业	21	307.0	76.5	374.0	757.5
锂电池厂商	7	36.0	15.0	91.0	142.0
磷化工/磷复肥企业	9	5.4	33.0	138.6	177.0
钛白粉企业	5	5.0	7.0	98.0	110.0
其他跨界企业	15	35.0	33.0	207.0	275.0
合计	56	388.4	164.5	908.6	1 461.5

数据显示，发布磷酸铁锂规划的企业已跃升至56家，按照企业类型分类如下。

(1) 正极材料企业。在磷酸铁锂行业耕耘多年，其工艺技术、产品质量已经得到市场验证，并与下游客户深度绑定，在手订单充足，且大多为上市公司，融资渠道畅通，其产能扩产基本按照规划节奏执行。代表企业有湖南裕能新能源电池材料股份有限公司、湖北万润新能源科技股份有限公司、深圳市德方纳米科技股份有限公司等。

(2) 锂电池厂商。布局磷酸铁锂正极材料是为了满足自身锂电池需求，保证供应链稳定，同时建立一体化优势，降低成本。如宁德时代新能源科技股份有限公司、比亚迪股份有限公司、国轩高科股份有限公司等。

(3) 磷化工、磷复肥企业。这类企业具有工业级磷酸或精制磷酸产能，且具有磷矿资源储备，布局磷矿-磷酸-铵/磷酸-磷酸铁-磷酸铁锂一体化产业具有成本优势^[5]。如四川发展龙蟒股份有限公司、新洋丰农业科技股份有限公司等。

(4) 钛白粉企业。钛白粉企业的副产物硫酸亚铁是生产前驱体磷酸铁的铁源，因此，向下游布局磷酸铁及磷酸铁锂生产线，具有铁源优势。如龙佰集团股份有限公司、中核华原钛白股份有限公司。

(5) 其他跨界企业。这类企业通常具有产业背景，资金实力雄厚。如烟台万华化学股份有限公司、盛虹集团有限公司等。

2.2 竞争格局

国内磷酸铁锂正极材料行业竞争格局较为稳定。数据显示，2019年磷酸铁锂正极材料行业CR3（市场占有率排名前3的公司占有率之和）和CR5（市场占有率排名前5的公司占有率之和）分别为57%和83%；2022年CR3和CR5分别为54%和73%，其中湖南裕能新能源电池材料股份有限公司占比达26%，深圳市德方纳米科技股份有限公司占比达18%，行业呈现两强竞争态势。2023年，磷酸铁锂正极材料行业CR3和CR5分别为55%和70%。其中湖南裕能新能源电池材料股份有限公司出货量51.0万t，行业占比约31%；深圳市德方纳米科技股份有限公司出货量23.0万t，行业占比约14%，市场呈现强者恒强的态势（见表2）。

表2 2023年磷酸铁锂正极材料出货量前5名情况

Table 2 Top 5 companies in terms of lithium iron phosphate shipment volume

排名	名称	出货量/ 万t	
		出货量 万t	占比/%
1	湖南裕能新能源电池材料股份有限公司	51.0	30.91
2	深圳市德方纳米科技股份有限公司	23.0	13.94
3	湖北万润新能源科技股份有限公司	16.5	10.00
4	湖北融通高科先进材料集团股份有限公司	15.4	9.33
5	常州锂源新能源科技有限公司	9.0	5.45

2.3 价格走势

受原材料价格和行业周期波动影响，磷酸铁锂价格波动幅度较大，从2020年12月的均价3.55万元/t涨到2022年3月的均价16.72万元/t，价格上涨

的主要原因：一是新能源汽车和新型储能需求快速增长，导致磷酸铁锂正极材料供需偏紧；二是原材料碳酸锂和磷酸铁价格上涨对磷酸铁锂涨价起到支撑作用。2022年3月至2023年1月，磷酸铁锂价格在16.72万元/t至15.66万元/t之间波动，最高涨到17.5万元/t左右。2023年2月至12月，磷酸铁锂价格一路下跌到4.2万元/t左右，这一时期下跌的原因：一是2023年大量磷酸铁锂产能相继投产，产能出现严重过剩；二是碳酸锂价格从最高的60万元/t，跌到年底的10万元/t，磷酸铁锂失去成本支撑。

3 磷酸铁锂正极材料行业面临的挑战

3.1 产能严重过剩

2022年以来，大量磷酸铁锂装置陆续建成并投产。据不完全统计，截至2023年年底，磷酸铁锂实际产能达388.4万t/a，2023年全年磷酸铁锂销量为165万t，产能严重过剩。目前在建的磷酸铁锂产能约164.5万t/a，若在建产能在两年内相继投产，则到2025年磷酸铁锂产能可能达到553万t，而市场普遍预测2025年磷酸铁锂需求量在250万~300万t。因此，未来几年磷酸铁锂将面临产能过剩的局面，导致行业整体产能利用率较低。同时，行业竞争加剧引起价格战，导致产品盈利能力下降。

3.2 原材料碳酸锂价格波动剧烈

原材料碳酸锂占磷酸铁锂生产成本的比重较高，最高时达80%左右，两者价格波动关联度较高。碳酸锂在2022年出现供需紧张的局面，其价格最高涨到60万元/t，由于市场供给紧缺，下游磷酸铁锂企业需要支付预付款才能采购到碳酸锂，这占用了企业大量的现金流，影响正常的生产资金安排。进入2023年以来，碳酸锂和磷酸铁锂价格快速下跌，企业年初利用高价碳酸锂生产的磷酸铁锂存货需要计提减值，从而导致磷酸铁锂企业出现巨额亏损。根据部分上市公司公告，2023年深圳市德方纳米科技股份有限公司预计亏损14.0亿~16.5亿元，湖北万润新能源科技股份有限公司亏损15.05亿元，江苏龙蟠科技股份有限公司亏损9.95亿~13.35亿元。

3.3 欧美贸易保护政策的不利影响

我国是新能源汽车和锂电池出口大国，我国新能源汽车产业链的快速发展使欧美国家面临巨大的竞争压力，因此针对我国新能源产业，欧美国家制定一系列贸易保护政策。(1) 2023年欧盟对中国出口的新能源汽车开展反倾销调查，中国新能源汽车出口或面临更高的关税。(2) 2023年欧盟颁布《新电池法》，对电池产品的环保和可持续性提出更

高要求，涉及碳排放、碳足迹、材料回收等内容，这将导致我国企业投入更多的设备和资源来满足新法的要求^[6]。(3) 2023年3月欧盟发布《欧洲关键原材料法案》，涉及动力电池的主要原材料，计划到2030年欧盟每年生产至少10%的关键原材料，且任何加工阶段来自单一第三方国家的战略原材料年消费量不应超过欧盟总体消费量的65%。

3.4 新技术的替代风险

磷酸锰铁锂是在磷酸铁锂基础上掺杂一定比例的锰形成的新型锂电池正极材料，其理论能量密度较磷酸铁锂高10%~20%，晶体结构与磷酸铁锂相似，热稳定性好，被认为是磷酸铁锂的升级版^[7]。头部正极材料企业以及电池厂商均进行了相关技术储备和产能规划，一旦磷酸锰铁锂导电性较差、循环寿命短等缺陷得到解决，可能对磷酸铁锂市场形成部分替代。

钠离子电池的优点是原材料碳酸钠资源丰富，不受碳酸锂资源限制，理论成本低，同时其低温性能、倍率性能优异，但其能量密度和循环寿命远低于磷酸铁锂。目前碳酸锂价格徘徊在10万元/t左右，钠离子电池相较磷酸铁锂电池不具备性价比，若未来碳酸锂价格出现快速上涨，有可能会刺激钠离子电池产业链快速布局，形成对磷酸铁锂电池的部分替代^[8]。

4 磷酸铁锂正极材料行业发展建议

4.1 开展碳酸锂期货套期保值业务

碳酸锂采购成本占磷酸铁锂生产成本的比例较大，近两年碳酸锂价格波动剧烈，对企业成本管控造成较大影响。建议磷酸铁锂企业适度开展商品期货套期保值业务，将碳酸锂商品套期保值业务与公司生产经营相匹配，通过远期交易锁定未来碳酸锂价格，保证原材料的供应稳定性和成本可控性。若预计未来碳酸锂价格上涨，可在期货市场买入相应数量和期限的碳酸锂期货合约，通过期货市场的盈利来抵消现货采购成本上涨的影响；若预计碳酸锂价格下降，可在期货市场卖出相应数量和期限的碳酸锂期货合约，通过期货市场的盈利来抵消高价库存跌价减值的损失^[9]。

4.2 在海外布局磷酸铁锂产能

国内新能源锂电池的出口将带动海外市场对磷酸铁锂正极材料需求的增加，在国内产能逐渐过剩且竞争激烈的状态下，建议磷酸铁锂企业在具有磷、锂等资源的国家布局磷酸铁锂产能，这将一定程度缓解行业的竞争压力，改善企业的盈利水平。

同时,在海外建设磷酸铁锂产能,还可规避欧美国家对中国新能源产业采取的贸易壁垒。目前,江苏龙蟠科技股份有限公司已在印尼规划了12万t/a磷酸铁锂产能,成为国内首家赴海外建厂生产磷酸铁锂的企业。

4.3 向上游产业链延伸

当前头部磷酸铁锂企业的磷酸铁前驱体自供比例较高,部分企业磷酸铁自供比例超过90%。除了布局磷酸铁前驱体,建议磷酸铁锂企业向上游进一步延伸至磷资源,或与磷化工、磷复肥企业进行产业合作,构筑磷矿-磷化工-磷酸铁-磷酸铁锂全产业链。磷化工企业在磷矿资源、矿石冶炼、渣酸处理及磷石膏处理等方面更有优势^[10],而磷酸铁锂企业在磷酸铁锂及前驱体磷酸铁行业具有技术优势和客户优势,双方深度合作可以形成优势互补,取长补短。另外,建议有实力的企业收购锂矿资源,或与碳酸锂企业合资建厂,以保证碳酸锂供应稳定。

5 展望

磷酸铁锂行业面临阶段产能过剩,未来可能会出现小企业产能及低端产能出清现象,行业扩产的速度将有所放缓。随着新能源汽车和储能行业稳步增长,磷酸铁锂需求将保持增长趋势。

[参考文献]

- [1] 于佳,付燕秋.正极材料磷酸铁锂的研究进展[J].当代化工研究,2018(12):8-9.
YU J, FU Y Q. Research progress of cathode material lithium iron phosphate[J]. Chemical Intermediate, 2018(12):8-9.
- [2] 袁文龙,王碧侠,赵瑛,等.用钛白副产硫酸亚铁合成磷酸铁前驱体[J].有色金属工程,2023,13(7):61-68.
YUAN W L, WANG B X, ZHAO Y, et al. Synthesis of iron phosphate precursor from by-product ferrous sulfate of titanium dioxide[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2023,13(7):61-68.
- [3] 陈胜文,李洪,刘利,等.磷酸铁的制备工艺及应用展望[J].化纤

(上接第41页)

之声。笔者曾多年从事肥料及助剂生产管理,认为从亚磷酸二氢钾的作用机制可以看出,它大多数时候其实是作为一种生物刺激素在发挥作用,它可能并不会直接作用于病菌,但是,它可以刺激农作物形成自身防御体系,相当于动物的疫苗。而且,亚磷酸二氢钾具有上下传导作用,可以在植株木质部和韧皮部进行双向运输,吸收速度快于磷酸态的磷,激活农作物产生多酚类物质和活性氧分子,激发防御酶活性,针对农作物体内侵染病害有治疗及预防作用,经常使用可大大提高农作物的抗逆和抗

与纺织技术,2021,50(11):37-39.

CHEN S W, LI H, LIU L, et al. Preparation technology and application prospect of iron phosphate[J]. Chemical Fiber and Textile Technology, 2021,50(11):37-39.

- [4] 张忠朝,薛星原.铵法磷酸铁废水处理副产硫酸铵工艺技术[J].磷肥与复肥,2023,38(11):38-39.
ZHANG Z C, XUE X Y. Ammonium sulfate production technology by treating wastewater from iron phosphate production with ammonium method[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023,38(11):38-39.
- [5] 陆定会,马松.发挥西南地区磷矿资源优势,发展磷酸铁锂产业[J].化学工业,2022,40(4):67-70.
LU D H, MA S. Taking advantage of phosphate ore resource in Southwest China to develop the industry of lithium iron phosphate[J]. Chemical Industry, 2022,40(4):67-70.
- [6] 李刚.双转型、地缘政治与欧盟关键原材料战略新动向[J].德国研究,2023,38(5):45-75.
LI G. Doppel-transformation, geopolitik und die neue entwicklung der EU-Strategie für kritische rohstoffe[J]. Deutschland-Studien, 2023,38(5):45-75.
- [7] 王彦强,柯君雄,王鏢,等.磷酸锰铁前驱体的研究进展[J].化工管理,2023(25):138-141.
WANG Y Q, KE J X, WANG B, et al. Research progress of manganese iron phosphate precursor[J]. Chemical Engineering Management, 2023(25):138-141.
- [8] 荣强,周露.钠离子电池电极材料研究进展[J].电源技术,2023(9):1130-1134.
RONG Q, ZHOU L. Research progress on electrode materials for sodium ion batteries[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2023(9):1130-1134.
- [9] 孙如燕.碳酸锂期货给磷酸铁锂产业链带来的机遇与挑战[J].中国有色金属,2023(12):35.
SUN R Y. Opportunities and challenges brought by lithium carbonate futures to lithium iron phosphate industry chain[J]. Chinese Nonferrous Metals Journal, 2023(12):34-35.
- [10] 杨磊.我国磷复肥企业转型新能源产业的思考[J].磷肥与复肥,2023,38(6):12-14.
YANG L. Thoughts on transformation of phosphate and compound fertilizer enterprises into new energy industry in China[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023,38(6):12-14.

病能力,改善农作物较长病态的转变,提高农作物生命力,具有很好的促根、促花、促果作用。

[参考文献]

- [1] 徐文凤,顾志光,任士伟.亚磷酸二氢钾对生姜茎腐病菌腐霉的抑制作用[J].黑龙江农业科学,2018(7):60-63.
XU W F, GU Z G, REN S W. Inhibitory effect of potassium dihydrogen phosphate on pythium causing ginger rhizome rots[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2018(7):60-63.
- [2] 叶铁林.化工结晶过程原理与应用[M].2版.北京:北京工业大学出版社,2012.
YE T L. Principle and application of chemical crystallization process [M]. 2nd Ed. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2012.